

[様式一学 5]

## 博士論文要旨

論文題名：外界知覚を実現する神経回路・細胞レベルでの  
情報処理機構に関するモデル研究立命館大学大学院情報理工学研究科  
情報理工学専攻博士課程後期課程フタギ ダイキ  
二木 大樹

脳は、多様な高次機能を実現する優れた情報処理システムであり、その機能の機構を理解することは医学や生体工学、情報工学の観点からも重要である。脳機能の一つである知覚情報処理において、外界の情報の確かさ・不確かさが脳神経系でどのように処理されているかはまだ不明な点が多い。この処理過程に対し、神経回路レベルの観点から知覚を遂行する脳の計算理論および神経回路構造、神経細胞レベルの観点から機能的な神経回路構造の形成・維持を支える細胞内機構、といった異なる階層における機構について、神経細胞の電気生理学的挙動などを数理モデル化し、そのモデルの解析を行った。

本論文では、まず、感覚器から得た刺激情報の不確かさの情報処理を可能にするベイズ推定が、神経回路上で実装可能かについて検証した。生理学・解剖学的に妥当な構造を以てベイズ推定を実行する大脳皮質神経回路モデルを構築し、モデルが視覚情報から外界の状態を推定する過程の再現を試みた。その結果、ベイズ推定による確率的な情報処理を再現するだけでなく、推定に要する時間と視覚刺激強度の関係が心理物理学の基本則Piéron's lawに合致することを見出だし、神経回路の構造や振る舞いをベイズ推定理論に基づいて解釈することの妥当性を新たに示した。次に、外界からの刺激に適応した回路を形成するための過程であるとされる、協調的・競合的シナプス可塑性の背景にある仕組みについて検討した。外界からの刺激に応じてシナプスの情報伝達効率が活動依存的に変化するシナプス可塑性において、複数のシナプスが協調・競合する機構についてはまだ理解されていない。細胞内 $\text{Ca}^{2+}$ がシナプス可塑性を制御する因子であるという実験事実をもとに、カルシウムストアと称される小胞体を含む細胞内 $\text{Ca}^{2+}$ 制御器官で制御される細胞内 $\text{Ca}^{2+}$ 動態をモデル化し、シナプス可塑性の背景にある仕組みを解析した。小胞体の $\text{Ca}^{2+}$ 貯蔵・放出機構が、空間的に離れたシナプス間の協調的・競合的变化を形作る上で主要な役割を果たすことを示唆した。

以上より、提案した神経回路および神経細胞レベルのモデルは、それぞれのレベルにおける知覚情報処理の機構についての理解に寄与した。

## **Abstract of Doctoral Thesis**

### **Title : Modeling studies of cellular- and circuit-level mechanisms for perceptual information processing**

Doctoral Program in Advanced Information Science and Engineering  
Graduate School of Information Science and Engineering  
Ritsumeikan University

フタギ ダイキ  
FUTAGI Daiki

The brain is an information processing system capable of various higher cognitive functions. The understanding of the mechanism of the brain function is important for the various research fields of medicines, bioengineering, and information engineering. In perceptual information processing, it is still unclear how certainty/uncertainty of external information is processed in the brain. As for this process, the mechanisms at different levels of a single neuron and a neural circuit were studied by using a computational model based on electrophysiological behaviors of a neuron.

Firstly, it was examined whether the Bayesian inference algorithm that treats uncertainty of sensory information can be implemented on a biological neural circuit. This dissertation constructed a cortical neural circuit model based on physiological and anatomical knowledge to reproduce the inference process of visual stimuli. As a result, it was found not only that the model could reproduce the probabilistic information processing of the Bayesian inference, but also that the relation between required time for the inference and the intensity of visual stimuli satisfied “Piéron’s law” known in the field of psychophysics. This suggests that it is possible to understand the structure and behavior of neural circuit in the context of the Bayesian inference. Next, the dissertation studied the mechanism of cooperative and/or competitive synaptic plasticity that is essential for formation of the adaptive neural circuit to external stimuli. As for the synaptic plasticity that a synapse change its weight in an activity-dependent manner, the mechanism for cooperation and competition between synapses is still unclear. Based on the experimental results that intracellular calcium ion controls the synaptic plasticity, the dissertation modeled the dynamics calcium concentration determined by several organs controlling calcium ions including calcium stores. By analyzing the mechanism, it was found that the storing and releasing of calcium ions by the calcium stores plays an important role for the cooperation and competition between spatially separated synapses.

Thus, the proposed neural circuit model and neuron model in the present thesis could advance understanding of perceptual information processing at each level